Québec

Note de recherche forestière n° 119

Résultats récents des recherches en reproduction des arbres au Québec

Fabienne COLAS, Denise TOUSIGNANT et Stéphan MERCIER

F.D.C. 232.3(047.3)(714)
L.C. SD 401.5

Résumé

Cette note présente les plus récents résultats des recherches menées sur la reproduction des arbres à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (Canada). L'approche de recherche mise sur la simplicité des méthodes pour qu'elles soient facilement applicables dans de nombreux contextes forestiers. D'importantes percées ont ainsi été réalisées à propos de l'aménagement des vergers à graines typiques et sous abri, les techniques de pollinisation de masse pour augmenter la production de graines des arbres, les méthodes de récolte et de conservation du pollen, les conditions techniques de germination des graines résineuses en pépinière et la mise au point de systèmes de bouturage à grande échelle. L'étroite collaboration entre les chercheurs et les praticiens du Québec a eu des retombées significatives en pépinière et dans les vergers à graines. Plusieurs prototypes uniques ont été développés et ils sont maintenant utilisés couramment.

Mots clés : conifère, reproduction, pollen, pollinisation, verger à graines, graine, germination, multiplication végétative, bouturage, Québec.

Abstract

This brief presents the most recent results of research carried out on tree reproduction at the Forest Research Directorate of the ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec *(Canada). The research approach relies on the simplicity of the methods so they will be easily applicable in a number of forestry contexts. Important breakthroughs were made in the management of conventional and interior container seed orchards, mass-pollination techniques to increase seed yield, pollen collection and storage techniques, technical conditions needed for nursery seed germination and development of large-scale cutting propagation systems. The close collaboration among researchers and practitioners in Québec had significant spill-over effects in nurseries and seed orchards. Several unique prototypes were developed and are now in general use.*

Keywords : conifer, reproduction, pollen, pollination, seed orchard, seed, germination, vegetative multiplication, rooted cuttings, Québec.

Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8 Canada

Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : recherche.forestiere@mrnfp.gouv.qc.ca

Ce texte est la version intégrale du mémoire présenté par les auteurs au XII[e] Congrès forestier mondial de septembre 2003 à Québec, Canada

Les versions française et anglaise du mémoire original sont aussi disponibles en format PDF à l'adresse suivante :

Original text in english is also available in PDF form on web site :

http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/alias/cfm2003.html

104-02190/

Introduction

La forêt québécoise couvre plus de 75 millions d'hectares. Elle représente 20 % du territoire forestier canadien et 2 % des forêts mondiales (MRN 2002a). Le secteur forestier a une importance économique majeure au Québec. En effet, ce secteur emploie plus de 80 000 personnes, soit près de 16 % des emplois du domaine manufacturier (MRN 2002b).

La *Stratégie de protection des forêts du Québec* (MRN 2002a) privilégie la régénération naturelle des superficies coupées. Toutefois, 15 à 20 % des superficies doivent être reboisées afin de garantir une régénération suffisante et de bonne qualité. Le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP) produit les semences et les plants destinés au reboisement (MRN 2002a). Les plants sont produits par six pépinières publiques et 20 producteurs privés. Environ 150 millions de plants sont mis en terre chaque année. Ils sont majoritairement issus de graines, mais une faible proportion (environ 3 %) provient de boutures.

Actuellement, les plantations n'occupent que 5 % de la superficie forestière mondiale. Cependant, elles fournissent 35 % du bois récolté (FAO 2001). À moyen terme, la FAO prévoie que 75 % du bois récolté mondialement proviendra de plantations (FAO 2001). Le reboisement permet d'augmenter significativement la productivité forestière. Le rendement annuel moyen des forêts naturelles québécoises est généralement inférieur à 2 m^3 ha^{-1} an^{-1}. Toutefois, il peut atteindre 5 à 8 m^3 ha^{-1} an^{-1} avec des plantations sur des stations de bonne qualité. Par ailleurs, la reconnaissance des forêts comme puits de carbone place le secteur forestier dans une position clé pour réduire les gaz à effet de serre, tel qu'exigé par le Protocole de Kyoto. La nouvelle initiative canadienne « Forêt 2020 », lancée par le Conseil canadien des ministres des forêts, place les plantations, et plus particulièrement celles d'essences à croissance rapide, parmi les scénarios d'atténuation du réchauffement de la planète (FORÊT CANADA 2001). De surcroît, dans sa stratégie de conservation de la biodiversité, le Québec compte soustraire 8 % de ses forêts à l'exploitation en 2005 (MENV 2002). Le reboisement à l'aide de plants de haute performance pourra limiter l'impact de cette réduction tout en maintenant la productivité forestière.

Le succès d'une reforestation durable demande un apport continu de graines de haute qualité pour la production de plants (HAAVISTO et SKEATES 1995). Pour cela, le Québec a établi un réseau de sources améliorées dans le but d'améliorer le rendement des plantations et la qualité des arbres, mais également afin de régulariser l'approvisionnement en semences (MRN 2002a). Le Québec compte actuellement 94 vergers à graines de première génération, dont le gain génétique anticipé varie de 3 à 10 % (MASSE 1999). Grâce aux nouvelles sélections génétiques, les gains anticipés pour les vergers de deuxième génération sont encore supérieurs. Ces vergers sont en cours d'implantation avec les essences majeures utilisées pour le reboisement au Québec, soit l'épinette noire (*Picea mariana*), l'épinette blanche (*Picea glauca*) et le pin gris (*Pinus banksiana*). L'utilisation de plants issus de boutures est un autre outil privilégié pour l'implantation d'une foresterie de haute production. D'ici 2012, 97 % des plants mis en terre au Québec devraient être de qualité génétique supérieure.

La recherche sur la reproduction des arbres joue un rôle prépondérant dans l'atteinte des objectifs du MRNFP en matière de reboisement avec du matériel génétiquement amélioré. Ainsi, les techniques de reproduction à grande échelle, par la voie sexuée ou asexuée, permettent de concrétiser les résultats des sélections génétiques en rendant le matériel disponible pour la production de plants en pépinière. De plus, le recours à des méthodes simples facilite leur application à plusieurs autres contextes forestiers. Cette note résume les plus récents résultats des travaux menés dans le domaine de la reproduction des arbres à la Direction de la recherche forestière. Ils ont été obtenus dans le cadre d'une collaboration étroite avec le secteur des opérations du MRNFP.

Résultats et discussion

Aménagement des vergers à graines

Deux modèles sont étudiés, soit le verger conventionnel au champ, mais avec un aménagement particulier (nature du sol, espacement de plantation, présence de brise-vent, utilisation de la pollinisation de masse), et le verger sous abri avec des arbres cultivés en pot (MERCIER et PÉRINET 1998).

- *Vergers à graines conventionnels*

Les vergers de première génération sont implantés à travers la province, en forêt naturelle, pour subvenir aux besoins de reboisement de toutes les régions écologiques du Québec. Les vergers de deuxième génération, quant à eux, sont plutôt installés sur le terrain des pépinières publiques, afin de faciliter les interventions. Les gains génétiques anticipés pour la deuxième génération sont tels qu'ils justifient largement le recours à diverses méthodes pour s'assurer de la meilleure productivité possible en graines.

Afin de garantir la qualité génétique des graines produites dans un verger, la contamination pollinique provenant de sources extérieures doit être minimisée. À cette fin, nous expérimentons le concept de verger entre brise-vent. En effet, ceux-ci peuvent créer des microclimats et accélérer le développement des fleurs de quelques jours (GUYOT 1983). Nos premiers résultats confirment que les brise-vent réduisent la vitesse du vent et permettent une légère augmentation de la température entre les haies, au niveau des branches (données non encore publiées).

[1] Depuis le 29 avril 2003, le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) est désigné sous la nouvelle appellation de ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP).

Nous poursuivons des études sur l'étalement de la floraison dans le temps pour vérifier si cette augmentation de température se traduit effectivement par un développement plus précoce des fleurs mâles et femelles par rapport aux arbres situés aux alentours du verger.

- Vergers à graines sous abri

Ce type de verger a été retenu pour les mélèzes (*Larix sp.*), car les caractéristiques particulières de leur développement et de leur floraison sont beaucoup plus faciles à gérer lorsque les arbres sont cultivés sous abri. Nous avons adapté le modèle de tunnel conventionnel pour en accroître la hauteur (Photo 1). Dans le but d'augmenter et de régulariser l'approvisionnement en graines de mélèze hybride, nous étudions le régime de culture, la taille de formation des arbres, les méthodes de récolte de pollen et de pollinisation, puis l'extraction opérationnelle et la germination des graines.

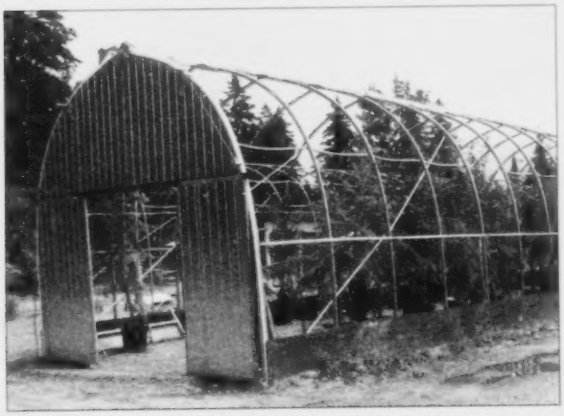

Photo 1. Abri utilisé pour la culture des mélèzes en pot. Après les pollinisations, les toiles des tunnels sont relevées afin de permettre un accès optimal des arbres à la lumière.
(Photo : F. Colas, MRNFP)

Pour produire des graines de mélèze hybride, nous contournons le décalage phénologique entre les espèces utilisées comme parents en ayant recours à du pollen conservé. Grâce à la culture des arbres sous abri, les travaux de pollinisation ne sont pas tributaires des conditions météorologiques, car les risques de gel sont presque nuls. De plus, la taille contrôle la hauteur des arbres.

Pollinisation de masse

La pollinisation de masse est utilisée pour accroître le gain génétique dans les vergers à graines, car elle permet d'augmenter la production de graines, tout en limitant la contamination pollinique (Bramlett 1997). Après avoir testé de nombreuses méthodes de pollinisation (Mercier et Parent 2003), nous avons retenu celle de la pollinisation électrostatique, avec un « pistolet électrostatique » portatif et autonome (Photo 2), qui peut être fixé sur un simple chariot ou sur une remorque. Cette remorque, tirée par un véhicule tout terrain, permet des déplacements faciles dans les vergers. Nous avons adapté le modèle mis au point en France pour les vergers à graines de mélèzes (Philippe et Baldet 1997). La force électrostatique charge le pollen négativement et favorise le dépôt d'un plus grand nombre de grains de pollen par bractée, par rapport à une pollinisation naturelle.

Photo 2. Pollinisation de masse dans un verger à graines à l'aide du pistolet électrostatique.
(Photo : S. Mercier, MRNFP)

Récolte mécanisée du pollen

Le pollen est soit utilisé frais, soit tiré de la banque de pollen ministérielle (Colas et Mercier 2001). L'utilisation du pistolet électrostatique à grande échelle accroît les besoins de pollen. Afin de récolter les quantités nécessaires à peu de frais, nous avons mis au point une technique de récolte mécanisée du pollen à l'aide d'un aspirateur portatif (Photo 3; Colas 2001).

Photo 3. Aspirateur utilisé pour la récolte du pollen. Le pollen est récolté le jour de sa dissémination. Il a ainsi une qualité optimale.
(Photo : S. Mercier, MRNFP).

Amélioration de la germination des graines

Au Québec, le MRNFP récolte et fournit gratuitement les graines nécessaires à la production de plants pour le reboisement. Nos travaux de recherche sont réalisés en collaboration avec l'équipe de développement du Centre de semences de Berthier[1], qui traite et expédie toutes les graines d'arbres destinées aux producteurs de plants. Notre objectif est de mettre au point des techniques facilement transposables à grande échelle, qui permettent d'augmenter la germination des graines en pépinière, de façon à tirer le meilleur parti possible des graines récoltées dans les vergers à graines.

Nos travaux ont conduit à l'implantation de la stratification opérationnelle des graines d'épinette blanche et de pin blanc (*Pinus strobus*) avant leur livraison aux pépiniéristes. Cependant, leur teneur en eau élevée (de 25 à 35 %) exige un ensemencement très rapide, pour que les graines conservent les effets bénéfiques liés à la stratification. Pour les essences non stratifiées, les récipients sont empotés et ensemencés d'avance, afin d'être répartis sur les aires de culture lorsque les conditions deviennent favorables. Nous vérifions que les graines stratifiées avec une teneur en eau élevée peuvent supporter la variation des conditions climatiques entre l'ensemencement et le début de la germination. De même, nous testons l'effet du séchage des graines stratifiées sur leur germination subséquente. Si l'on pouvait appliquer le séchage sans perdre l'effet bénéfique lié à la stratification, les pépiniéristes bénéficieraient d'une plus grande souplesse pour décider de la date de l'ensemencement.

Un autre volet de nos travaux consiste à améliorer les conditions des tests de germination au Centre de semences, afin de garantir l'obtention de résultats fiables et reproductibles et permettre ainsi la livraison de graines en quantité suffisante pour la production de plants. De ce fait, l'optimisation des conditions des tests de germination au laboratoire permettra de fournir des données de germination fiables aux pépiniéristes, pour une meilleure gestion des cultures.

Plants issus de boutures

Le Québec détient une expertise unique dans le domaine du bouturage des arbres forestiers. Actuellement, trois millions de plants résineux issus de boutures sont produits à la Pépinière de Saint-Modeste. Les installations d'enracinement, conçues et développées par les chercheurs et praticiens du MRNFP, y sont uniques au monde. Depuis les années 1980, nos recherches ont permis d'optimiser la culture des pieds-mères et l'enracinement des boutures pour les espèces en cause. Ces travaux ont mené à des solutions originales, applicables à grande échelle, et sont rapidement passées de l'essai à la pratique.

Les plants multipliés par bouturage sont issus des meilleurs croisements recommandés par les généticiens. Les gains en plantation justifient largement les coûts de production des plants issus de boutures, légèrement plus élevés (1,5 à 1,7 fois) que les semis. D'ici à 2005, le MRNFP prévoit tripler sa production annuelle de plants résineux issus de boutures, pour dépasser les 10 millions de plants. Cette cible illustre bien les efforts que le MRNFP déploie pour augmenter la productivité des forêts québécoises.

- Système « Bouturathèque »

Le système « *Bouturathèque* » permet l'enracinement hors serre, à l'étouffée, de boutures semi-ligneuses (VALLÉE et NOREAU 1990). Il se prête particulièrement bien à la multiplication de l'épinette noire, qui compte actuellement pour près de 75 % de la production de boutures (TOUSIGNANT *et al.* 1996). Il s'agit de compartiments superposés, hermétiques et éclairés individuellement par des tubes fluorescents (Photo 4). Leur principal avantage, outre le gain d'espace, est de permettre une production continue, puisque l'enracinement se fait dans des salles climatisées, indépendamment du climat extérieur. Cette approche implique la culture forcée des pieds-mères en serre, pour réaliser quatre à cinq récoltes de boutures par année.

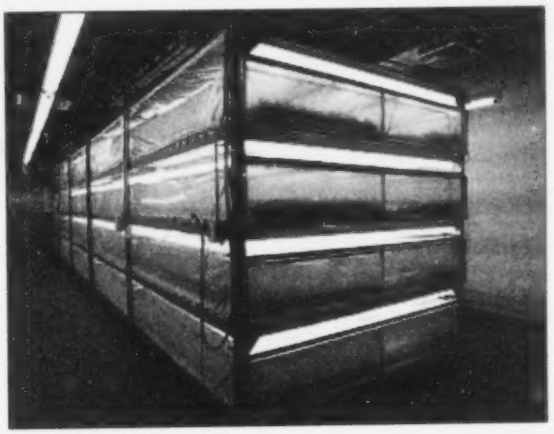

Photo 4. L'une des six étagères des « Bouturathèques » de la Pépinière de Saint-Modeste. (Photo : MRNFP).

- Doubles enceintes extérieures

L'épinette blanche et l'épinette de Norvège (*Picea abies*) répondent moins bien au forçage que l'épinette noire. Le mélèze hybride, de son côté, requiert beaucoup d'espace d'enracinement pour accommoder ses longues aiguilles.

---

[1] Une information complète sur le Centre de semences de Berthier est disponible par le lien suivant : http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-semences-berthier.jsp

[2] Une information complète sur le Centre de bouturage de Saint-Modeste est disponible par le lien suivant : http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-semences-modeste.jsp

Pour ces trois espèces, nous avons développé, depuis 1998, une technique de bouturage estival, dans des enceintes montées à l'intérieur de tunnels conventionnels (TOUSIGNANT et RIOUX 2002). Ces infrastructures légères sont économiques et polyvalentes et leur utilisation est en pleine expansion.

- Doubles enceintes extérieures

L'épinette blanche et l'épinette de Norvège (*Picea abies*) répondent moins bien au forçage que l'épinette noire. Le mélèze hybride, de son côté, requiert beaucoup d'espace d'enracinement pour accommoder ses longues aiguilles. Pour ces trois espèces, nous avons développé, depuis 1998, une technique de bouturage estival, dans des enceintes montées à l'intérieur de tunnels conventionnels (TOUSIGNANT et RIOUX 2002). Ces infrastructures légères sont économiques et polyvalentes et leur utilisation est en pleine expansion.

Chaque enceinte d'enracinement peut contenir entre 150 000 et 230 000 boutures. Dans un tunnel non chauffé, des arceaux métalliques supportent un film de plastique clair, offrant une étanchéité complète (Photo 5). Un robot d'irrigation est contrôlé par des appareils « Mist-a-Matic® » et des sondes de température et d'humidité de l'air; le tout est géré par un système programmable pour que l'arrosage tienne compte de la période du jour, des conditions d'humidité de l'air et de la température.

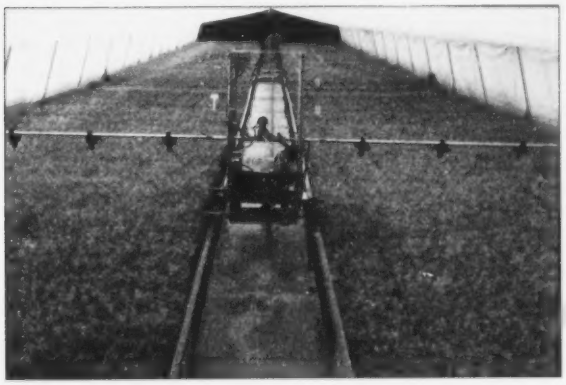

Photo 5. Vue intérieure d'une enceinte d'enracinement sous tunnel.
(Photo : P. Lemay, MRNFP)

Les pieds-mères d'épinette blanche et de Norvège sont cultivés à l'extérieur, alors que ceux de mélèze sont forcés pendant une courte période à la fin de l'hiver. Après trois récoltes annuelles de boutures, les pieds-mères sont récupérés et livrés au reboisement.

- Culture des boutures enracinées

Afin d'atteindre les gabarits souhaités, les boutures enracinées sont repiquées et cultivées pendant deux ans, à racines nues ou en récipients de plus de 200 cm^3. Le repiquage constitue un événement charnière dans leur culture. Les recherches entreprises récemment visent à identifier des traitements culturaux pour assurer une meilleure survie des boutures au repiquage, un remplissage adéquat de la motte en récipient et l'atteinte d'une meilleure qualité racinaire à racines nues. Nous cherchons ainsi à réduire les coûts de production tout en augmentant les quantités disponibles de plants livrables issus de boutures.

Conclusion

Les travaux sur la reproduction des arbres, tant pour le volet sexué qu'asexué, ont la particularité d'être rapidement transposés à l'échelle opérationnelle. Ils ont ainsi des retombées directes sur le programme de reboisement du Québec. Que ce soit pour la récolte de pollen, la pollinisation de masse ou le bouturage en « *Bouturathèques* » ou sous enceintes extérieures, nos recherches ont abouti à la création de prototypes adoptés par le secteur des opérations du MRNFP. Les forêts s'en trouvent enrichies, car la quantité de semences et de plants de qualité, issus des programmes provinciaux d'amélioration génétique, ne cesse d'augmenter et de se diversifier.

Ouvrages cités

BRAMLETT, D.L., 1997. *Genetic gain from mass controlled pollination and topworking*. Journal of Forestry 95(3) : 15-19.

COLAS, F., 2001. *Spruce pollen : from collection to conservation and pollination*. Tree Seed Working Group News Bulletin 33 (mai) : 15-17.

COLAS, F. et S. MERCIER, 2000. *Évaluation et maintien de la viabilité des pollens utilisés dans le programme d'amélioration de arbres*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 135, 78 p.

FAO, 2001. *Situation des forêts du monde, 2001*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie. 181 p.

FORÊT CANADA, 2001. *L'état des forêts au Canada*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts : 72-76.

GUYOT, G., 1983. *Les effets aérodynamiques et micro-climatiques des brise-vent et des aménagements régionaux*. INRA de Montfavet, France. Mémoire de la station bioclimatique n° 91, 43 p.

HAAVISTO, V.F. et D.A. Skeates, 1995. *Larger black spruce cones produce more and heavier seeds*. Natural resources Canada, Canadian Forest Service-Ontario. Technical note 30, 4 p.

MASSE, L., 1999. *Les vergers à graines (voie sexuée). Dans :* Actes du colloque : L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous? 28-30 septembre 1999. Rivière-du-Loup, Québec, p. 117-123.

MENV, 2002. *Stratégie québécoise sur les aires protégées. Plan d'action stratégique, premiers résultats*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement, 43 p.

MERCIER, S. et P. PÉRINET, 1998. *The second generation seed orchard research project at the Direction de la recherche forestière in Québec.* The Forestry Chronicle 74(2) : 181-184.

MERCIER, S. et C. PARENT, 2003. *Pollinisation de masse dans les vergers à graines.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière (soumis).

MRN, 2002a. *Site Internet du ministère des Ressources naturelles du Québec.* [http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/] (5 novembre 2002).

MRN, 2002b. *Ressources et industries forestières. Portrait statistique, édition 2002.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. 64 p.

PHILIPPE, G. et P. BALDET, 1997. *Electrostatic dusting : an efficient technique of pollination in larch.* Annales des sciences forestières 54 : 301-310.

TOUSIGNANT, D. et M. RIOUX, 2002. *Le bouturage des résineux à la pépinière de Saint-Modeste (Québec, Canada) : 10 ans de recherche, de développement et d'innovations. Dans :* Verger M. (éd). Multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux. Actes. [CD-Rom]. Montpellier, France : Cirad-Inra, p. 65-86. Troisième rencontre du groupe de la Sainte Catherine, 22-24 novembre 2000, Orléans, France.

TOUSIGNANT, D., P. PÉRINET et M. RIOUX, 1996. *Le bouturage de l'épinette noire à la pépinière de Saint-Modeste.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles. RN96-3004, 33 p.

VALLÉE, G. et R. NOREAU, 1990. *La « bouturathèque » : système de bouturage compact hors serre.* Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche. Note de recherche forestière n° 41, 6 p.

2003-3113

ISBN 2-550-41830-1
Dépôt légal 2003
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© 2003 Gouvernement du Québec

Ressources naturelles, Faune et Parcs
Québec

Recent Research Results in Tree Reproduction in Québec

Research Note
Tabled at the XII World Forestry Congress – Québec, Canada 2003,
by the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec*

September 2003

Direction de la recherche forestière (Forest Research Branch)

Ressources naturelles, Faune et Parcs
Québec

Recent Research Results in Tree Reproduction in Québec

by

Fabienne Colas[1], Denise Tousignant[2] and Stéphan Mercier[3]

Research Note
Tabled at the XII World Forestry Congress – Québec, Canada 2003,
by the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec*

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP)
Direction de la recherche forestière (Forest Research Branch)
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
CANADA

Telephone: (418) 643-7994
Fax: (418) 643-2165

fabienne.colas@mrnfp.gouv.qc.ca
denise.tousignant@mrnfp.gouv.qc.ca
stephan.mercier@mrnfp.gouv.qc.ca

www.forestrycongress.gouv.qc.ca
www.mrnfp.gouv.qc.ca

---

[1] Biologist, D.E.S.S.
[2] Biologist, M.Sc.
[3] Forest Engineer, M.Sc.

Abstract

This brief presents the most recent results of research carried out on tree reproduction at the Forest Research Directorate of the *ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec* (Canada). The research approach relies on the simplicity of the methods so they will be easily applicable in a number of forestry contexts. Important breakthroughs were made in the management of conventional and interior container seed orchards, mass-pollination techniques to increase seed yield, pollen collection and storage techniques, technical conditions needed for nursery seed germination and development of large-scale cutting propagation systems. The close collaboration among researchers and practitioners in Québec had significant spill-over effects in nurseries and seed orchards. Several unique prototypes were developed and are now in general use.

Keywords: conifer, reproduction, pollen, pollination, seed orchard, seed, germination, vegetative multiplication, rooted cuttings, Québec

Introduction

Québec's forests cover more than 75 million hectares. They represent 20% of Canada's forested area and 2% of the world's forests (MRN[4] 2002a). The forestry sector is of major economic importance in Québec. In fact, the sector employs more than 80,000 persons, or nearly 16% of jobs in the manufacturing sector (MRN 2002b).

The *Stratégie de protection des forêts du Québec* (MRN 2002a) (Québec Forest Protection Strategy) favours natural regeneration in harvested areas. Nevertheless, 15 to 20% of the areas have to be reforested in order to ensure sufficient, good-quality regeneration. The *ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec* (MRNFP) produces seeds and plants used for reforestation (MRN 2002a). The plants are produced by six public and 20 private nurseries. Approximately 150 million plants are established each year. Most are produced from seed, but a small proportion (about 3%) are from rooted cuttings.

Currently, plantations cover only 5% of the globe's area. However, they supply 35% of the harvested timber (FAO 2001). Reforestation significantly increases forest productivity. The mean annual yield of Québec's natural forests is generally less than 2 m^3/ha/year, but yields can attain 4 to 8 m^3/ha/year from plantations on good quality sites. Besides, the awareness that forests are carbon sinks puts the forestry sector in a key position to reduce greenhouse gasses, as required by the Kyoto Protocol. The new Canadian *Forest 2020* initiative, launched by the Canadian Council of Forest Ministers, places plantations, and particularly those using fast-growing species, among the scenarios to attenuate global warming (Canadian Forest Service 2001). Furthermore, in its biodiversity conservation strategy, Québec plans to subtract 8% of its forests from harvesting in 2005 (MENV 2002). Reforestation using high-performance trees could limit the effect of this reduction while maintaining forest productivity.

The success of sustainable reforestation requires a continuous supply of high-quality seeds for plant production (Haavisto and Skeates 1995). To achieve this, Québec established a network of improved sources with the aim of increasing plantation yields and tree quality, but also to regulate seed supply (MRN 2002a). Québec now has 94 first-generation seed orchards, with an expected genetic gain of 3% to 10% (Masse 1999). Thanks to new genetic selections, anticipated gains for second-generation orchards are even higher. These orchards are now being established using the principal reforestation species used in Québec: black spruce (*Picea mariana*), white spruce (*Picea glauca*) and jack pine (*Pinus banksiana*). The use of plants from rooted cuttings is another preferred tool in establishing high-quality forests. By 2012, 97% of trees planted in Québec should be of superior genetic quality.

Tree reproduction research plays a leading role in achieving the MRNFP's reforestation objectives using improved genetic material. Thus, large-scale reproduction techniques, using sexual or asexual propagation, help to put the results of genetic selection in

[4] On April 29, 2003, the *ministère des Ressources naturelles du Québec* (MRN) became the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec* (MRNFP).

concrete form by making the material available for the production of nursery plants. Also, the use of simple methods facilitates their application in several other forestry contexts. This brief summarizes the most recent results of work carried out by the Forest Research Directorate in the area of tree reproduction. They were achieved through close collaboration with the operations sector of the MRNFP.

Results and discussion

Seed orchard management

Two types are being studied, the conventional field orchard with special management (soil type, planting spacing, use of windbreaks, mass pollination), and the interior container seed orchard (Mercier and Périnet 1998).

- *Conventional seed orchards*

First-generation orchards have been established in natural forests throughout the province to support the reforestation needs for all of Québec's ecological regions. By contrast, second-generation orchards are being established at public nurseries for ease of operations. The anticipated genetic gains for the second generation are such that they justify using several methods to ensure the best possible seed yields.

In order to guarantee the genetic quality of orchard-produced seeds, contamination from exterior pollen sources must be minimized. To do this, we are experimenting with the establishment of orchards between windbreaks. These create microclimates and accelerate flower development by several days (Guyot 1983). Our initial results confirm that the windbreaks reduce wind speed and provide a slight increase in temperature between the hedges at the crown level (unpublished data). We are continuing studies on flowering phenology to see if the increase in temperature effectively translates into earlier development of male and female flowers, compared to trees located in the area surrounding the orchard.

- *Interior container orchards*

This type of orchard was chosen for the larches (*Larix* sp.), because the particular characteristics of their development and flowering are much easier to manage when the trees are grown in a shelter. We adapted standard tunnels to increase their height (**Figure 1**). To increase and stabilize seed supply, we are studying the growth regime, tree form, pollen harvesting and pollination methods, and operational extraction and germination of seeds.

Figure 1. Shelter adapted to grow containerized larch grafts. Following pollination, tunnel covers are removed to provide optimal light conditions. (Photo: F. Colas, MRNFP)

To produce hybrid larch seeds, the use of stored pollen allows us to get around the phenological mismatch between the parent species. By growing trees under shelters, pollination work is not affected by weather conditions because the risk of frost is almost nil. Moreover, pruning controls tree height.

Mass pollination

Mass pollination is used to increase the genetic gain in seed orchards, because it increases seed production while limiting pollen contamination (Bramlett 1997). After having tested many pollination methods (Mercier and Parent 2003), we opted for electrostatic pollination using a portable and self-contained pistol (**Figure 2**), which can be attached to a simple carriage or a trailer. The trailer is pulled by an all-terrain vehicle and is easily moved throughout the orchard. We adapted the model developed for larch orchards in France (Philippe and Baldet 1997). The electrostatic force puts a negative charge on the pollen, which increases the amount of pollen deposited per bract, compared to natural pollination.

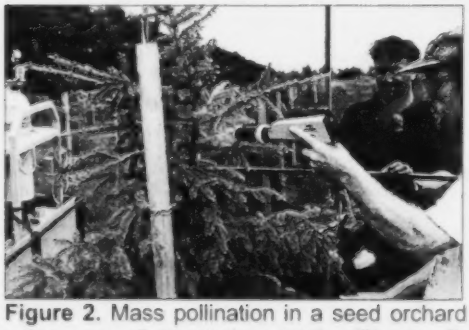

Figure 2. Mass pollination in a seed orchard using an electrostatic pistol. (Photo: S. Mercier, MRNFP)

Mechanized pollen collection

Pollen is either used fresh or taken from the Ministry's pollen bank (Colas and Mercier 2001). Using an electrostatic pistol on a large scale increases pollen requirements. In order to collect the required quantities at low cost, we developed a mechanized technique using a modified, portable vacuum apparatus (**Figure 3**; Colas 2001).

Figure 3. Vacuum apparatus used to collect pollen. Pollen is collected the same day it is disseminated, thus ensuring its quality. (Photo: S. Mercier, MRNFP)

Improving seed germination

In Québec, the MRNFP collects and supplies seeds at no charge to produce seedlings for reforestation. Our research is undertaken in collaboration with the development team at the Berthier[5] Seed Centre, which processes and ships all the seeds to the province's forest nurseries. Our objective is to perfect techniques that are easily converted to a large scale, and which increase germination rates in the nursery to get the most possible from seeds collected from orchards.

Our work led to implementing operational stratification of white spruce and white pine (*Pinus strobus*) before delivering them to nurseries. However, their high moisture level (25 to 35%) requires very rapid seeding to ensure that the seeds retain the beneficial effects of stratification. For non-stratified seeds, containers are filled and seeded in advance, and placed in the growing areas when conditions are favourable. We are verifying that the stratified seeds with high moisture content can also support these variations in climatic conditions between the time of seeding and the start of germination. Also, we are testing whether drying the stratified seeds has an effect on

[5] Complete information in French on the Berthier Seed Centre is at the following link: http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-semences-berthier.jsp

their subsequent germination. If it were possible to dry the seeds without losing the benefits of stratification, nurseries would benefit from greater flexibility in deciding when to seed.

Another facet of our work consists in improving conditions of germination tests conducted at the Seed Centre, to guarantee reliable and reproducible results, which ensures the delivery of seeds in sufficient quantities for seedling production. Optimizing germination test conditions in the laboratory will help provide reliable germination data to nurseries, leading to better crop management.

Plants produced by cuttings

Québec has a unique expertise in the field of propagating forest tree cuttings. Currently, three million conifer plants are produced annually from cuttings at the Saint-Modeste[6] Nursery. The rooting installations, designed and developed by researchers and practitioners at the MRNFP, are unique in the world. Since the 1980s, our research has continued to optimize the cultivation of stockplants and the rooting of cuttings for the species being used. This work led to original solutions that are applicable at a large scale and are quickly transferred from testing to practice.

Plants propagated by cuttings come from the best controlled crosses recommended by geneticists. High genetic gains justify the slightly higher production costs of rooted cuttings, compared to seedlings (1.5 to 1.7 times). From now to 2005, the MRNFP expects to triple its annual production of conifer cuttings to over 10 million plants. This target illustrates the efforts that the MRNFP is using to increase the productivity of Québec's forests.

- *Bouturathèque system*

The *Bouturathèque* system (from the French *bouture*, for cutting) allows rooting of semi-lignified cuttings in environmentally-controlled compartments (Vallée and Noreau 1990). This system is particularly appropriate for propagating black spruce, which presently accounts for 75% of cutting production (Tousignant et al. 1996). Each shelving rack consists in four superimposed, airtight compartments that are individually lit by fluorescent tubes (**Figure 4**). Their main advantage, other than the space saving, is to allow for year-round production, since rooting takes place in climate-controlled rooms, independent of outside weather. This approach involves the forced growing of stockplants in the greenhouse to provide four to five harvests of cuttings per year.

[6] Complete information in French on the Saint-Modeste Rooted Cuttings Centre is at the following link: http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-semences-modeste.jsp

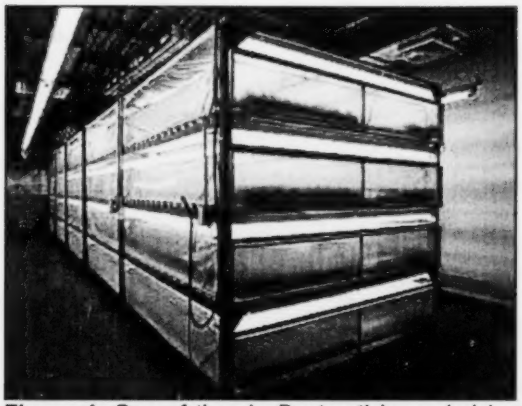

Figure 4. One of the six *Bouturathèque* shelving racks at the Saint-Modeste Nursery. (Photo: MRNFP)

- *Double exterior enclosure*

White spruce and Norway spruce (*Picea abies*) stockplants respond less well to forcing than does black spruce. Hybrid larch, on its part, requires a lot of rooting space to accommodate its long needles. For these three species, a summer cutting technique has been developed since 1998. Cuttings root in enclosures contained within standard tunnels (Tousignant and Rioux 2002). These light infrastructures are economical and multi-purpose, and their use is growing rapidly.

Each rooting enclosure can contain between 150,000 and 230,000 cuttings. Inside an unheated tunnel, metal hoops support a clear plastic film, forming a completely airtight compartment (**Figure 5**). An irrigator robot is controlled by a "Mist-a-Matic"® system, as well as programmable temperature and air humidity sensors. Thus misting takes into account the time of day, air humidity and temperature conditions.

Figure 5. Interior view of a rooting enclosure within a standard tunnel. (Photo: P. Lemay, MRNFP)

The white spruce and Norway spruce stockplants are grown outside, while the larch

stockplants are forced for a short period at the end of winter. After three annual cutting harvests, the stockplants are retrieved and used for reforestation.

- *Cultivation of rooted cuttings*

In order to attain the desired dimensions, the rooted cuttings are transplanted and grown for two years as bareroot stock or in containers larger than 200 cm^3. Transplanting is a crucial event in their cultivation. Research was undertaken recently to identify the cultural treatments needed to ensure better survival of the cuttings after transplanting, adequate filling of the container plug and achieving better bareroot seedling root quality. We are trying to reduce production costs while increasing the available quantities of deliverable rooted plants.

Conclusion

Research on the sexual or asexual reproduction of trees has the special feature of being quickly transferable to an operational scale. It therefore has direct effects on Québec's reforestation program. Whether for pollen collection, mass pollination or propagation of rooted cuttings in the *Bouturathèques* or in exterior enclosures, our research has resulted in the creation of prototypes that have been widely adopted by the operations sector of the MRNFP. The forests are enriched, because the quantity of seeds and quality plants coming out of our province's genetic improvement programs continue to increase and diversify.

References

Bramlett, D.L. 1997. Genetic gain from mass controlled pollination and topworking. Journal of Forestry 95 (3):15–19.

Colas, F. 2001. Spruce pollen: From collection to conservation and pollination. Tree Seed Working Group News Bulletin 33 (May):15–17.

Colas, F. and S. Mercier. 2000. Évaluation et maintien de la viabilité des pollens utilisés dans le programme d'amélioration de arbres. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 135. 78 p.

FAO. 2001. Situation des forêts du monde. 2001. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie. 181 p.

Ressources naturelles Canada. 2001. *L'état des forêts au Canada*. Service canadien des forêts, Ottawa, ON. p. 72–76.

Guyot, G. 1983. Les effets aérodynamiques et microclimatiques des brise-vent et des aménagements régionaux. INRA de Montfavet, France. Mémoire de la station bioclimatique n° 91. 43 p.

Haavisto, V.F. and D.A. Skeates. 1995. Larger black spruce cones produce more and

heavier seeds. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Sault Ste. Marie, ON. Technical note 30. 4 p.

Masse, L. 1999. Les vergers à graines (voie sexuée). Dans : Actes du colloque : L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous? 28–30 septembre 1999. Rivière-du-Loup, QC. p. 117–123.

MENV. 2002. Stratégie québécoise sur les aires protégées. Plan d'action stratégique, premiers résultats. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement. 43 p.

Mercier, S. and P. Périnet. 1998. The second generation seed orchard research project at the Direction de la recherche forestière in Québec. The Forestry Chronicle 74(2):181–184.

Mercier, S. and C. Parent. 2003. Pollinisation de masse dans les vergers à graines. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière (soumis).

MRN 2002a. Site Internet du ministère des Ressources naturelles du Québec. [http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/] (5 novembre 2002).

MRN 2002b. Ressources et industries forestières. Portrait statistique, édition 2002. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. 64 p.

Philippe, G. and P. Baldet. 1997. Electrostatic dusting: An efficient technique of pollination in larch. Annales des Sciences Forestières 54:301–310.

Tousignant, D. and M. Rioux. 2002. Le bouturage des résineux à la pépinière de Saint-Modeste (Québec, Canada) : 10 ans de recherche, de développement et d'innovations. *Dans* Verger, M. (éd). Multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux. Actes. [CD-Rom]. Montpellier, France : Cirad_Inra, p. 65–86. Troisième rencontre du groupe de la Sainte Catherine, 22–24 novembre 2000. Orléans, France.

Tousignant, D., P. Périnet and M. Rioux. 1996. Le bouturage de l'épinette noire à la pépinière de Saint-Modeste. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, RN96-3004. 33 p.

Vallée, G. and R. Noreau. 1990. La « bouturathèque » : système de bouturage compact hors serre. ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche. Note de recherche forestière n° 41. 6 p.